

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **2001202837 A**

(43) Date of publication of application: **27.07.01**

(51) Int. Cl

H01B 12/16

(21) Application number: **2000011705**

(22) Date of filing: **20.01.00**

(71) Applicant: **SUMITOMO ELECTRIC IND LTD**

(72) Inventor:
**HIROSE MASAYUKI
MASUDA TAKAHITO
KATO TAKESHI
YUMURA HIROYASU
WATABE MICHIIKO
HARADA MAKOTO**

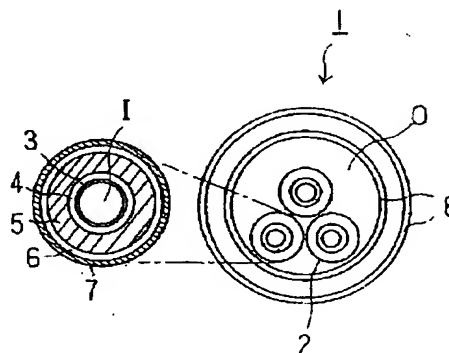
(54) SUPERCONDUCTIVE CABLE

(57) Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a superconductive cable which can increase an electric transmission capacity of superconductor and can reduce cooling system.

SOLUTION: In a superconductive cable 1 filled with refrigerants I.O at inside of a cable core 2, and there is used refrigerant in which an utility temperature change width of the refrigerant I filled in a former 3 is larger than that of the refrigerant O filled in outside of a protection layer 7. More particularly, mixture of liquid oxygen and liquid nitrogen is used as the refrigerant I.

COPYRIGHT: (C)2001,JPO



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-202837

(P 2 0 0 1 - 2 0 2 8 3 7 A)

(43) 公開日 平成13年7月27日(2001.7.27)

(51) Int. Cl. ⁷

H01B 12/16

識別記号

F I

H01B 12/16

テーマコード

(参考)

5G321

審査請求 未請求 請求項の数 6 ○ L (全 5 頁)

(21) 出願番号 特願2000-11705(P 2000-11705)

(22) 出願日 平成12年1月20日(2000.1.20)

(71) 出願人 000002130

住友電気工業株式会社

大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号

(72) 発明者 廣瀬 正幸

大阪府大阪市此花区島屋一丁目1番3号

住友電気工業株式会社大阪製作所内

(72) 発明者 増田 孝人

大阪府大阪市此花区島屋一丁目1番3号

住友電気工業株式会社大阪製作所内

(74) 代理人 100100147

弁理士 山野 宏 (外1名)

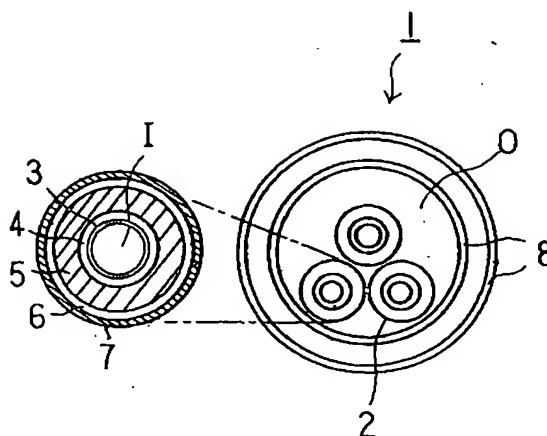
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 超電導ケーブル

(57) 【要約】

【課題】 超電導導体の送電容量を増加し、かつ冷却システムを減少できる超電導ケーブルを提供する。

【解決手段】 ケーブルコア2の内外側に冷媒I・Oが充填される超電導ケーブル1において、フォーマー3の内側に充填される冷媒Iの使用温度変化幅が、保護層7の外側に充填される冷媒Oの使用温度変化幅よりも大きい冷媒を用いる。特に、冷媒Iには、液体酸素と液体窒素との混合物を用いる。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 ケーブルコアの内外側に冷媒が充填される超電導ケーブルにおいて、

前記ケーブルコアの内側に充填される冷媒は、その使用温度変化幅がケーブルコアの外側に充填される冷媒の使用温度変化幅よりも大きいことを特徴とする超電導ケーブル。

【請求項 2】 ケーブルコアの内外側に冷媒が充填される超電導ケーブルにおいて、

ケーブルコアにおける内側の冷媒の凝固点は、ケーブルコアにおける外側の冷媒の凝固点よりも低いことを特徴とする超電導ケーブル。

【請求項 3】 ケーブルコアの内側に充填される冷媒の使用温度変化幅に、ケーブルコアの外側に充填される冷媒の使用温度幅が含まれることを特徴とする請求項 1 記載の超電導ケーブル。

【請求項 4】 ケーブルコアの内側に充填される冷媒は、液体酸素と液体窒素との混合物であることを特徴とする請求項 1 または 2 記載の超電導ケーブル。

【請求項 5】 ケーブルコアの内外側に充填される冷媒は、ともに液体酸素と液体窒素とを含む混合物であり、ケーブルコアの内側に充填される該混合物の酸素濃度は、ケーブルコアの外側に充填される混合物の酸素濃度よりも大きいことを特徴とする請求項 1 または 2 記載の超電導ケーブル。

【請求項 6】 ケーブルコアは、超電導導体の外周に絶縁層を具え、該絶縁層における少なくとも一部の冷媒が固体状であることを特徴とする請求項 5 記載の超電導ケーブル。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、超電導ケーブルに関するもので、特に、送電容量を増大できる超電導ケーブルに関する。

【0002】

【従来の技術】 一般に超電導ケーブルは、断熱管の内側に単芯或いは大容量を確保するために複数本撚り合わせたケーブルコアを挿入して成る。図 1 は、超電導ケーブル 1 において 3 芯のケーブルコア 2 の部分断面を示す。ケーブルコア 2 は、内側から順にフォーマー 3・超電導導体 4・絶縁層 5 からなり、その上に遮蔽層 6・保護層 7 をテープなどの巻き付けにより設けている。断熱管 8 は、内管・外管の 2 重の金属管からなり、内管の内側に上記ケーブルコア 2 を挿入している。このような超電導ケーブル 1 において、フォーマー 3 の内側と、内管と各ケーブルコア 2 との間隙（保護層 7 の外側）には、各々冷媒 I・O を流入している。この冷媒 I・O には、液体窒素が用いられる。なお、窒素は、大気圧において沸点が約 77K、凝固点が約 63K であり、冷媒として使用される際の使用温度変化幅は、圧力によって変化するが例え

ば大気圧において約 63K~77K 程度である。

【0003】 また、液体窒素の冷媒 I・O は、長尺な超電導ケーブルを常時極低温に保持するために冷凍機や熱交換機を含めた冷却システムを同ケーブルの長手方向に一定区間毎に設けている。この冷却システムは、超電導ケーブル内部からの抵抗による発生熱（ジュール損）や同外部からの侵入熱により温度が上昇した液体窒素をその使用温度変化幅（冷媒の凝固点から沸点の範囲）内で温度変化を抑える必要がある。そのため、上記幅内に入るように冷媒流量・冷却システムの処理熱量・冷却システムの設置区間長が決められている。特に、過負荷時においては発生熱によって液体窒素を気化させないために、該当部分付近を集中的に冷却するのに冷媒流量を増加させている。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】 しかし、液体窒素の沸点が低く凝固点が高いことによって、以下の制約がある。

① 冷却システムの設置区間長が、上記使用温度変化幅に伴って制約される。冷却システムによって冷やされた液体窒素は、次の冷却システムまで使用温度変化幅内の温度を保持しておかなければならない。従って、一定数量の冷却システムが必要であり、一定の送電容量を確保するためには冷却システムを削減することはできない。また、使用温度変化幅が小さいと、冷却システムの数量は、必然的に多くなる。一方、上記冷却システムの設置数を減らそうとすると、一冷却システムにおける冷媒流量を多くしなければならない。すると、冷媒を流出するポンプ容量を増大させる必要がある。それに伴って、冷媒を流出する循環ポンプも大型化する必要がある。ここで、超電導ケーブルに流動させる液体窒素は、気泡の発生により絶縁性が低下するのを防止するために飽和蒸気圧以上に加圧して循環させている。また、冷却システム間は、通常数 km あり、その間で冷媒を流動させるために圧送されている。従って、流量を多くするために液体窒素の送入圧力を増大すると断熱管（特に内側）の耐圧強度を十分に確保しなければならないが、その強度改善にも限界がある。特に、過負荷時において冷媒流量を増加させなければならない。また、冷媒流量を著しく増加させることで上記圧損に伴うロスなどが顕著である。即ち、冷却システム数を減少させるためには冷媒流量を増加させなければならないが、循環ポンプの大型化や圧損等の新たな問題が生じる。

【0005】 ② 送電容量が制限される。超電導ケーブルにおいて電気容量を増大させるには、抵抗を極力小さくする必要がある。従って、より低温であることが望まれる。そこで、超電導導体をより低温に冷却するために、液体窒素ではなく窒素よりも凝固点が高い冷媒として液体酸素が知られている。しかし、ケーブルコアの内外側に液体酸素を充填させると、絶縁層内で冷媒が気化

して生じた空隙に放電が起こった場合、この放電が火種となって酸素が爆発する恐れが多分にある。即ち、送電容量を増大させるためにケーブルコアの内外側に流動させる冷媒として液体酸素が適するが、液体酸素は、部分放電の際に爆発する恐れが大きいという問題がある。

【0006】そこで、本発明は、冷却システムが減少でき、かつ超電導導体をより低温に冷却させることで送電容量を増加させる超電導ケーブルを提供することを目的とする。また、放電などに起因する爆発などの危険が殆ど無い超電導ケーブルを提供することを目的とする。

【0007】

【課題を解決するための手段】本発明は、ケーブルコアの内外側に冷媒が充填される超電導ケーブルにおいて、ケーブルコアの内側に充填される冷媒の使用温度変化幅が、同外側に充填される冷媒の使用温度変化幅よりも大きいことを特徴とする。即ち、ケーブルコアの内側に充填される冷媒は、その使用する温度の最大値と最小値との差が同外側に充填される冷媒のそれよりも大きい。使用温度変化幅が大きくなることで、次の冷却システムまで保持させる温度幅が広がるので冷却システムの設置区間長をより長くすることが可能であり、冷却システムの設置数を減少できる。ここで、超電導導体をより低温に保つために、ケーブルコアの内側に充填される冷媒の温度は、ケーブルコアの外側に充填される冷媒の温度よりも低いことが好適である。そして、ケーブルコアの内側に充填される冷媒の使用温度変化幅に、ケーブルコアの外側に充填される冷媒の使用温度幅が含まれることが好ましい。即ち、超電導導体に近いケーブルコアの内側に流動する冷媒の方が、同外側に流動する冷媒よりも低温にすることで、導体に対する冷媒効率が良くなり導体をより低温に保持でき、送電容量も増加できる。

【0008】このとき、従来の冷媒である液体窒素を用いた場合、使用温度幅は大気圧において約14K（約63K～77K）であり、ケーブルコアの内側に流動させる冷媒の上記幅を同外側よりも大きくすることが難しい。しかし、ケーブルコアの内側に流動される冷媒は、使用温度変化幅が大きいだけでなく、特に、範囲の下限である凝固点が同外側に流動される冷媒よりも低いことが望ましい。そこで、ケーブルコアの内側に流動させる冷媒は、同外側に充填させる冷媒の凝固点よりも低い冷媒を用いると良い。

【0009】ここで、凝固点が液体窒素よりも低いものとして液体酸素がある。そこで、特に、超電導導体を冷却するためにケーブルコアの内側（フォーマーの内側）に充填される冷媒は、液体酸素の混合物であることが好適である。なお、ケーブルコアの外側（保護層の外側）に充填される冷媒に液体酸素を含有すると、その液体酸素の濃度によっては、冷媒の気化によって生じた空隙に放電が発生した場合、その放電が火種となって充填している酸素が爆発する危険がある。そこで、本発明超電導

ケーブルでは、特に、ケーブルコアの内側の冷媒に液体酸素を含む混合物を使用する。ケーブルコアの内側の冷媒に液体酸素を含むため、放電が起こってもフォーマーによって遮られて放電がケーブルコアの内側に達する恐れがほとんど無く爆発の危険が少ない。上記によりケーブルの内側において、液体酸素は高濃度でも良く、凝固点が最も低くなる（大気圧において約50K）80体積%弱を上限とし、ケーブルコアの外側の冷媒が固体化しない程度の温度になるように定める。

【0010】従って、少なくともフォーマーの内側に流動させる冷媒に上記液体酸素と液体窒素との混合物を使用し、例えば、同内側には上記混合物を送入し、保護層の外側には爆発の恐れが無いように液体窒素のみを冷媒として使用すると良い。このとき、フォーマーの内側に充填させる冷媒は、液体酸素を含有しているため凝固点を低く沸点を高くすることができ使用温度変化幅を大きくできる。また、凝固点が低いことにより、超電導導体をより低温に保持できるため、送電容量の増大が図れる。

【0011】なお、より超電導ケーブルを低温に保持するために、フォーマーの内側・保護層の外側に充填される冷媒は、ともに液体酸素と液体窒素との混合物であっても良い。このとき、フォーマーの内側に充填される混合物の酸素濃度は、保護層の外側に充填される混合物の酸素濃度よりも大きいものが望ましい。フォーマーの内側に充填される混合物の酸素濃度がより高いことによって、フォーマーの内側に流動される冷媒の凝固点を低下させ、超電導導体に近い冷媒がより低温であることで大容量が確保できる。なお、保護層の外側に充填する冷媒の液体酸素の濃度は、爆発の危険性が少ない程度であれば良い。具体的には、10体積%以上25体積%以下であることが望ましい。10体積%よりも小さいと使用温度変化幅が僅かしか広がらないので、同幅の拡大による効果が余り期待できない。また、25体積%よりも大きいと上記の爆発の恐れが大きくなる。このような濃度を満たす混合物として液体空気が好適である。ここで、液体空気とは、液体酸素約21体積%、液体窒素約79%とから構成される液体を指す。なお、上記混合物において不可避免的不純物が含まれていることは言うまでも無い。上記により本発明は、液体酸素を含有した冷媒を用いることで、特に超電導導体をより低温に保持することができるので、液体窒素のみの冷媒と同量の冷媒流量と比較して、送電容量を増加することができる。また、凝固点が低い液体酸素を用いることで、超電導ケーブルの使用温度変化幅を大きくできる。

【0012】更に、フォーマーの内側に充填する冷媒に液体酸素を含有する本発明超電導ケーブルにおいて、使用温度変化幅が液体窒素と同じ（大気圧において約14K）とすると、凝固点が低いことにより液体窒素よりも更に低温での使用が可能である。従って、大きな温度特性を

10

20

30

40

50

有する超電導ケーブルにおいて、本発明超電導ケーブルは、若干の温度低下によってその送電容量の増大化を図ることが可能である。また、液体窒素のみを冷媒とした超電導ケーブルと冷却システムの設置区間長を同じとした場合、上記液体酸素を含む冷媒により、冷媒流量を減少させることもでき圧損に伴うロスも低下させることが可能である。特に、上記液体酸素を含有する冷媒は、通常時における冷媒流量を減少することができるため、過負荷時において、一時的に極端に冷媒流量を増加させる場合も既設の循環ポンプで対応でき、冷媒流量の増量のために循環ポンプを大きくする必要が無い。

【 0 0 1 3 】 上記の液体酸素が混合された冷媒によって、ケーブルコアの絶縁層に含浸されている冷媒で超電導体付近の冷媒が冷却され、少なくとも一部の冷媒が液体から固体状に変態することがある。本発明において、少なくとも一部の冷媒が固体状であるとは、常にまたは一時的に固体状となっている場合も含む。従って、液体と固体とが混合した冷媒の運用も許容する。なお、絶縁層内の冷媒は、流動させることが無いため固体化していても問題ない。

【 0 0 1 4 】

【発明の実施の形態】 以下、本発明の実施の形態を説明する。本発明超電導ケーブル 1 において、基本的な構成は図 1 に示す従来のものと同様であるが、本発明の特徴とするところは、フォーマー 3 の内側に流動する冷媒 I として液体酸素と液体窒素との混合物を使用した点にある。以下、その点を中心に説明する。

【 0 0 1 5 】 本発明超電導ケーブル 1 において、ケーブルコア 2 の最内部であるフォーマー 3 は、予め円筒状に形成された銅などの金属管で、その内側は、冷媒 I が流動される冷媒通路である。超電導体 4 は、銀または銀合金シースの内部にセラミック材を注入して圧延してから伸線にし、それを複数本集めて銀または銀合金シースで包括し、更に伸ばしてテープ状や丸状にした素線から構成される。そして、超電導体 4 は、フォーマー 3 の外表面に積層構造を成してスパイラル状に巻き付けられたり、丸線の超電導体をフォーマー 3 の外周にスパイラル状に配置している。絶縁層 5 は、冷媒 O が含浸された紙テープや紙テープとプラスチックテープの複合紙を巻回したものなどである。

【 0 0 1 6 】 ここで、本発明超電導ケーブル 1 では、フォーマー 3 の内側に流動する冷媒 I として、液体酸素と液体窒素との混合物を用いる。このとき、冷媒 I の液体酸素の濃度は、保護層 7 の外側に流動させる冷媒 O が固体化しない程度に混合させれば良く、凝固点の最も低くなる 80 体積 % 弱を上限として適宜用いると良い。本例では、体積比が液体酸素 : 液体窒素 = 1 : 5、即ち液体酸素約 20 体積 %、液体窒素約 80 体積 % の液体空気を用いた。なお、液体空気は、大気圧において沸点約 79 K、凝固点約 61 K で、冷媒の使用温度変化幅は約 18 K となる。従っ

て、液体窒素のみの冷媒の同幅約 14 K よりも三割程度大きい。使用温度変化幅が三割ほど大きくなったことで、冷却区間長も三割程度大きくすることが可能となる。具体的には、20 km 線路において液体窒素のみの冷媒では 5 km 間隔で四個の冷却システムが必要であるが、上記液体空気では、凝固点が液体窒素よりも低いことで超電導状態を保持する幅が広がり、約 6.5 km 間隔で三個の冷却システムにすることができ、従って、同距離線路において冷却システムの個数を減少させることが可能である。

【 0 0 1 7 】 ここで図 2 は、超電導ケーブルにおける送電容量と温度との関係を表したグラフである。なお、液体窒素を冷媒として大気圧において約 77 K に冷却された超電導ケーブルの送電容量を 1 としている。図 2 に示すように、超電導ケーブルは、より低温であるほど送電容量が多くなり、また、超電導ケーブルは、大きな温度特性を具えるため僅かな温度低下であっても容量の増加は著しい。具体的には、大気圧において、約 57 K に冷却すると約 77 K の場合に比べて約 2.5 倍、約 50 K では同約 3 倍の送電容量を得ることが可能である。従って、より低温にすることで過負荷時において、極端な冷媒流量の増量の必要が無い。なお、上記本例超電導ケーブルにおいて、大気圧下で約 61 K に冷却すると約 77 K の場合に比べて約 2 倍の送電容量が得られる。

【 0 0 1 8 】 一方、絶縁層 5 に含浸される冷媒 O には、放電に起因する酸素の爆発を防止するために液体窒素を用いる。なお、液体窒素は、大気圧において凝固点が約 63 K であるため、液体窒素の凝固点よりも低い冷媒 I を流動することで、超電導体 4 付近において絶縁層 5 の冷媒の固体化することもある。しかし、絶縁層 5 の冷媒は、流動させることが無いので問題ない。ここで、超電導ケーブル 1 をより低温に冷却するために、液体酸素と液体窒素の混合物を冷媒 O に使用してもよい。なお、冷媒 O の酸素濃度は、部分放電に起因する爆発が怒らない程度にすると良い。このとき、超電導体 4 を効率良く冷却するために冷媒 I の酸素濃度を冷媒 O よりも高くすることが好ましい。例えば、冷媒 I の酸素濃度は、凝固点を低くするために 80 体積 %、冷媒 O の酸素濃度は、爆発の危険性がないように 20 体積 % 前後（液体空気）が適当である。

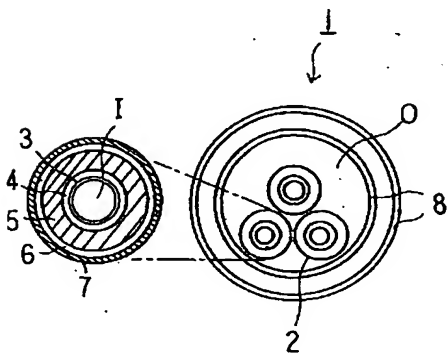
【 0 0 1 9 】 上記凝固点が低い液体酸素を含有した冷媒 I・O によって超電導ケーブル 1 は、超電導ケーブル 1 全体として流動させる冷媒の量を減少させることもでき、圧損に伴うロスも低下させることが可能である。

【 0 0 2 0 】 なお、超電導ケーブル 1 は、図 1 に示すようにケーブルコア 2 を三本集合させた 3 芯のものだけでなく、1 本だけの単芯のものでも良い。また、超電導体 4 は、本例のテープ状の素線を撚り合わせたものだけでなく、丸線をスパイラル状に配置させたり積層させても良い。

【 0 0 2 1 】

【発明の効果】以上、説明したように本発明超電導ケーブルによれば、冷媒に液体酸素と液体窒素との混合物を用いることにより液体窒素のみの使用と比較して、より低温に冷却可能なため送電容量を増大できるという優れた効果を奏し得る。特に、フォーマーに遮断されたケーブルコアの内側に充填する冷媒に液体酸素が高濃度である混合物を使用することで、送電容量をより大きくできる。このとき、部分放電による爆発の恐れも無い。また、液体酸素の使用により冷媒の沸点が高く凝固点が高いことで使用温度変化幅が大きくなり、冷却システムの設置区間長を長くすることができ、冷却システムの設置数を減少できる。更に、上記設置区間長を従来と同様とした場合、即ち使用温度変化幅が液体窒素と同じであっても本発明超電導ケーブルは、循環させる冷媒流量を減少することが可能である。従って、圧損に伴うロスが低減でき、また、冷媒流量の減少に伴い冷媒を流出する循環ポンプも縮小できる。特に、過負荷時において、極端な冷媒流量の増量にも既設の循環ポンプで対応できる。

【図 1】



なお、本発明超電導ケーブルにおいて、従来のケーブルに比べて凝固点の低い絶縁層内の冷媒が固体化する恐れもあるが、絶縁層内の冷媒は循環させることが無いので問題ない。逆に、フォーマーの内側に流動する冷媒を絶縁層内の冷媒が固体化する程度の温度で使用することにより、本発明超電導ケーブルは、より低温での使用が可能である。

【図面の簡単な説明】

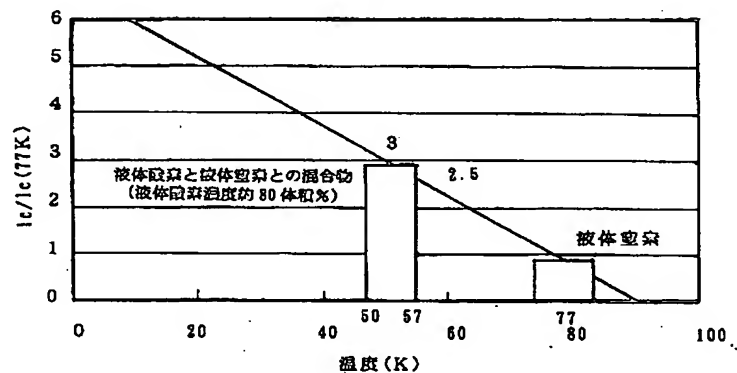
【図 1】本発明超電導ケーブルのケーブルコアの部分横断面図である。

【図 2】超電導ケーブルにおいて、温度と送電容量との関係を表すグラフである。

【符号の説明】

1 超電導ケーブル 2 ケーブルコア 3 フォーマー 4 超電導導体
5 絶縁層 6 遮蔽層 7 保護層 8 断熱管 I
・ O 冷媒

【図 2】



フロントページの続き

(72)発明者 加藤 武志
大阪府大阪市此花区島屋一丁目 1 番 3 号
住友電気工業株式会社大阪製作所内
(72)発明者 湯村 洋康
大阪府大阪市此花区島屋一丁目 1 番 3 号
住友電気工業株式会社大阪製作所内

(72)発明者 渡部 充彦
大阪府大阪市此花区島屋一丁目 1 番 3 号
住友電気工業株式会社大阪製作所内
(72)発明者 原田 真
大阪府大阪市此花区島屋一丁目 1 番 3 号
住友電気工業株式会社大阪製作所内
Fターム(参考) 5G321 AA99 BA01 CB02 CB99